



Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Αρδεύσεις – Στραγγίσεις έργων πρασίνου

Ενότητα 6 : Βασικές αρχές υδραυλικής

Δρ. Τσιρογιάννης Λ. Ιωάννης



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων

Αρδεύσεις – Στραγγίσεις έργων πρασίνου

Ενότητα 6: Βασικές αρχές υδραυλικής

Δρ. Τσιρογιάννης Λ. Ιωάννης

Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Ηπείρου

Άρτα, 2015



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





Χρηματοδότηση

- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «**Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση**» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Ηπείρου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





Σκοποί ενότητας

- Παρουσίαση βασικών αρχών υδραυλικής (υδροστατική και υδροδυναμική)
- Αξιοποίηση βασικών αρχών υδραυλικής στο σχεδιασμό αρδευτικών συστημάτων



Περιεχόμενα ενότητας

- Βασικές αρχές υδραυλικής (υδροστατική και υδροδυναμική)
- Εφαρμογή υδραυλικής στο σχεδιασμό αρδευτικών συστημάτων
- Παραδείγματα εφαρμογής



Ορισμός

- Υδραυλική είναι η επιστήμη που μελετά τη συμπεριφορά του νερού είτε αυτό κινείται (υδροδυναμική) είτε είναι στάσιμο (υδροστατική).
- Το νερό έχει διαφορετική συμπεριφορά όταν:
 - είναι στάσιμο
 - κινείται σε κλειστούς αγωγούς υπό πίεση και
 - κινείται σε ανοικτούς αγωγούς π.χ. αυλάκια



Ροή

- Ροή ονομάζεται η κίνηση του νερού στους αγωγούς
- Η ροή του νερού μπορεί να είναι μόνιμη ή μη, ομοιόμορφη ή μη, στρωτή ή τυρβώδης (στροβιλώδης) και πολλά άλλα.



Μόνιμη ή μη-μόνιμη ροή

- Μόνιμη ροή έχουμε όταν σε κάθε σημείο η ταχύτητα διαδοχικών «σωματιδίων» του νερού σε διαδοχικούς χρόνους είναι ίδια. Έστω δηλαδή ένα σημείο στο οποίο τώρα βρίσκεται το «σωματίδιο» Α και έχει ταχύτητα U , σε επόμενη στιγμή το «σωματίδιο» Β που θα βρεθεί στο ίδιο σημείο θα έχει πάλι ταχύτητα U .



Στρώτη και τυρβώδης ροή

- Υπάρχουν δύο βασικές καταστάσεις ροής:
 - στρωτή (γίνεται σε παράλληλες στρώσεις)
 - τυρβώδης ή στροβιλώδης ροή (δημιουργούνται «δίνες» εντός της ροής)
- Για να εκτιμήσουμε σε ποια κατάσταση βρίσκεται η ροή χρησιμοποιούμε τον αριθμό Reynolds.





Αριθμός Reynolds

$$R_e = \frac{v \times D}{\nu}$$

Re: αριθμός Reynolds
(αδιάστατος)

v = ταχύτητα (m/s)

D = χαρακτηριστικό μήκος (m),
στην περίπτωση κλειστών
αγωγών κυκλικής διατομής
ταυτίζεται με τη διάμετρο

ν = κινηματικό ιξώδες ρευστού-
kinematic viscosity- (m²/s)

- Χαρακτηρισμός ροής:

- Στρωτή (laminar) εάν $Re < 2300$
- Μεταβατική κατάσταση (transient) εάν $2300 < Re < 4000$
- Τυρβώδης (turbulent) εάν $Re > 4000$



Υπολογιστής Re στο internet:

http://www.efunda.com/formulae/fluids/calc_reynolds.cfm#calc



Παροχή και ταχύτητα ροής

- Παροχή καλείται ο όγκος νερού που διέρχεται από μία κάθετη προς τον άξονα ροής επιφάνεια στη μονάδα του χρόνου.
 - Βασική σχέση:
- Q: η παροχή (m³/h, l/min, l/h, GPM...)
 - V: ο όγκος νερού που περνά σε χρόνο t από μία κάθετη στη ροή διατομή
 - A: το εμβαδόν της διατομής
 - v: η μέση ταχύτητα ροής στη διατομή

$$Q = \frac{V}{t} = A \times v$$

Αν όγκος $V=A \times S$ περάσει σε χρόνο t από τη διατομή τότε η σχέση $Q=V/t$ γίνεται $Q=A \times S/t$ και επειδή S/t είναι ίσο με την ταχύτητα u έχουμε: $Q=A \times u$

Θυμίζουμε ότι για κυκλικές διατομές:
 $A=\pi r^2$ ή $A=\pi d^2/4$



Υπολογισμός αριθμού Reynolds

Temperature - t - (°C)	<u>Kinematic</u> <u>Viscosity</u> - ν - (m ² /s) x 10 ⁻⁶
0	1,787
5	1,519
10	1,307
20	1,004
30	0,801
40	0,658
50	0,553
60	0,475
70	0,413
80	0,365
90	0,326
100	0,294

Υπολογισμός Re για κοινές διαμέτρους και ταχύτητα ροής 1,5m/s:

U m/s	Φmm	Re αδιάστατος
1,5	16	23904,4
1,5	12	17928,3
1,5	20	29880,5
1,5	25	37350,6
1,5	32	47808,8
1,5	40	59761
1,5	50	74701,2
1,5	63	94123,5
1,5	75	112052
1,5	90	134462



Βασικές παράμετροι υδραυλικής

- Για τα αρδευτικά δίκτυα μας ενδιαφέρει η γνώση:
 - της πίεσης (P – pressure) και
 - της παροχής (Q – flow)

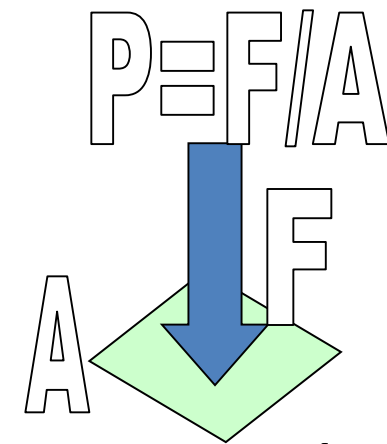


Στατική και δυναμική πίεση

- Στατική πίεση είναι η πίεση που δημιουργείται λόγω της βαρύτητας, υπάρχει και όταν το νερό είναι ακίνητο και όταν κινείται
- Δυναμική πίεση (ή πίεση λειτουργίας) είναι η πίεση που υπάρχει στο νερό όταν αυτό κινείται



ΠΙΕΣΗ



- Είναι η δύναμη που ωθεί το νερό να κινηθεί στους σωλήνες.
- Μπορεί να δημιουργηθεί με δύο τρόπους:
 - Με τη βαρύτητα (λόγω του βάρους του ίδιου του νερού)
 - Με τη χρήση αντλητικών – πιεστικών συστημάτων (με κατανάλωση ενέργειας)



Πίεση λόγω βαρύτητας

- Η πίεση που δημιουργείται από το ίδιο το βάρος του νερού είναι ανάλογη της υψομετρικής διαφοράς των σημείων -μέσα στο νερό- για τα οποία εξετάζεται.

$$P = h \times \gamma = h \times \rho \times g$$

όπου:

P: η πίεση σε συγκεκριμένο σημείο

γ : το ειδικό βάρος του νερού

h: η απόσταση του σημείου που εξετάζεται από κάποιο σημείο αναφοράς π.χ. την ελεύθερη επιφάνεια του νερού (ονομάζεται και φορτίο ή ύψος πίεσης)

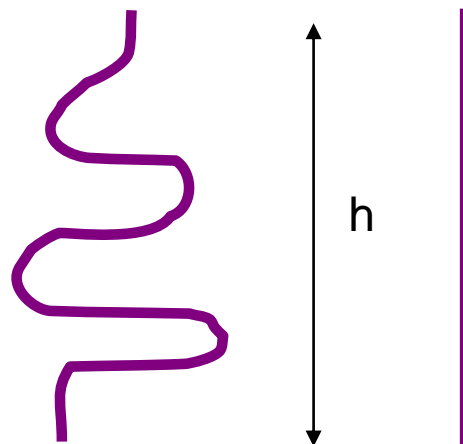
ρ : η πυκνότητα του νερού και

g: η επιτάχυνση της βαρύτητας



πληροφορίες εφαρμογής

- μας ενδιαφέρει η κατακόρυφη απόσταση (ύψος) μεταξύ των σημείων που εξετάζονται.



P στο κάτω μέρος καμπύλης = P στο κάτω μέρος κατακόρυφης στήλης

- Δεν λαμβάνουμε υπόψη την πίεση της ατμόσφαιρας (άρα αναφερόμαστε σε σχετική πίεση)



Μονάδες πίεσης

- Η πίεση είναι δύναμη προς επιφάνεια
- Τυπικές μονάδες:
 - at (τεχνητή ατμόσφαιρα ή απλά ατμόσφαιρα)
 - m στήλης νερού
 - **kg cm⁻² [SI]**
 - bar
 - PSI (pound per square inch) [UK]

$$1at = 1kgcm^{-2} = 10m \text{ νερού} = 0,98bar = 14,223PSI$$



Μέτρηση της πίεσης

- Πιεσόμετρα (μανόμετρα) γλυκερίνης ή αέρος
- Βαθμονομημένα συνήθως σε kg/cm^2 , bar και PSI





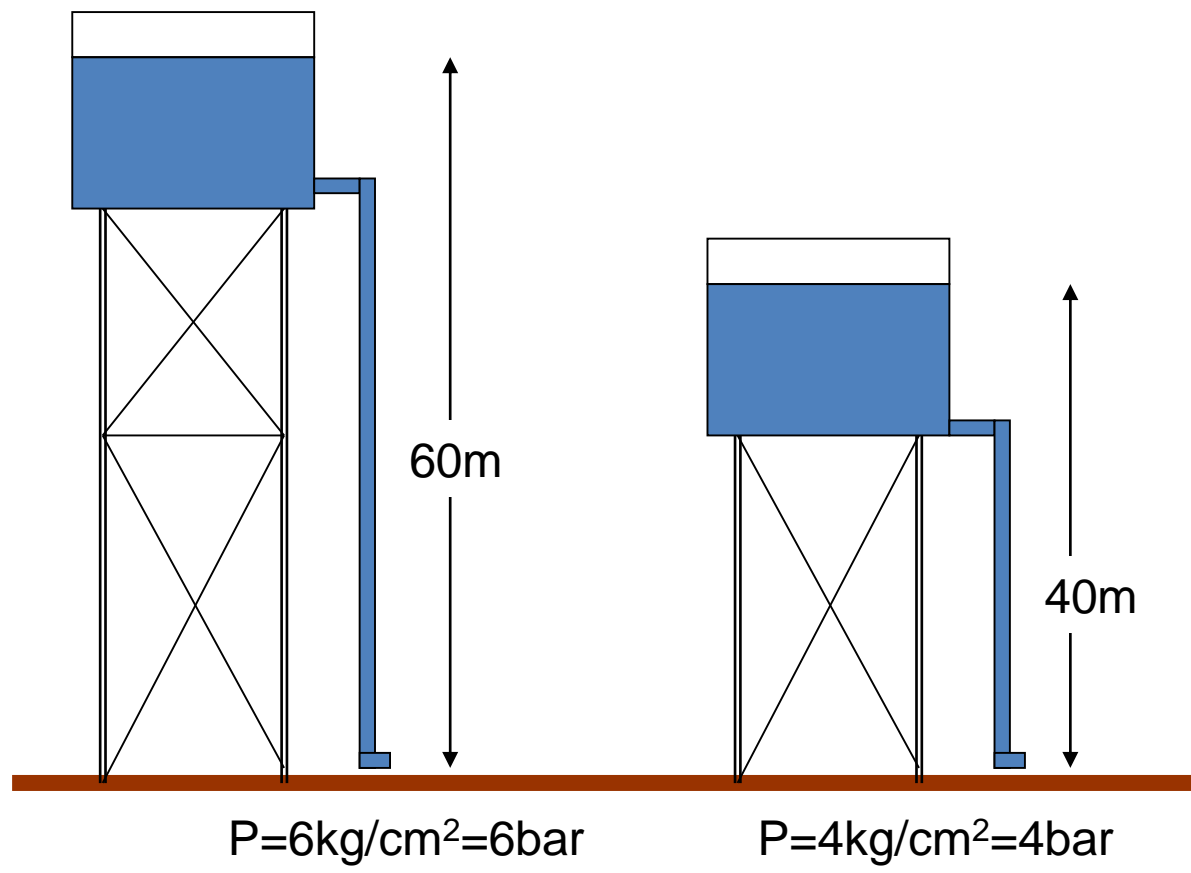
Πρακτικές εκφράσεις πίεσης

- Επειδή στις αρδεύσεις το ρευστό που χρησιμοποιούμε είναι νερό το οποίο έχει ειδικό βάρος (στους 20°C) 1 gr cm^{-3} η πίεση και το φορτίο πίεσης σχετίζονται με την απλή σχέση:

$$P = h$$

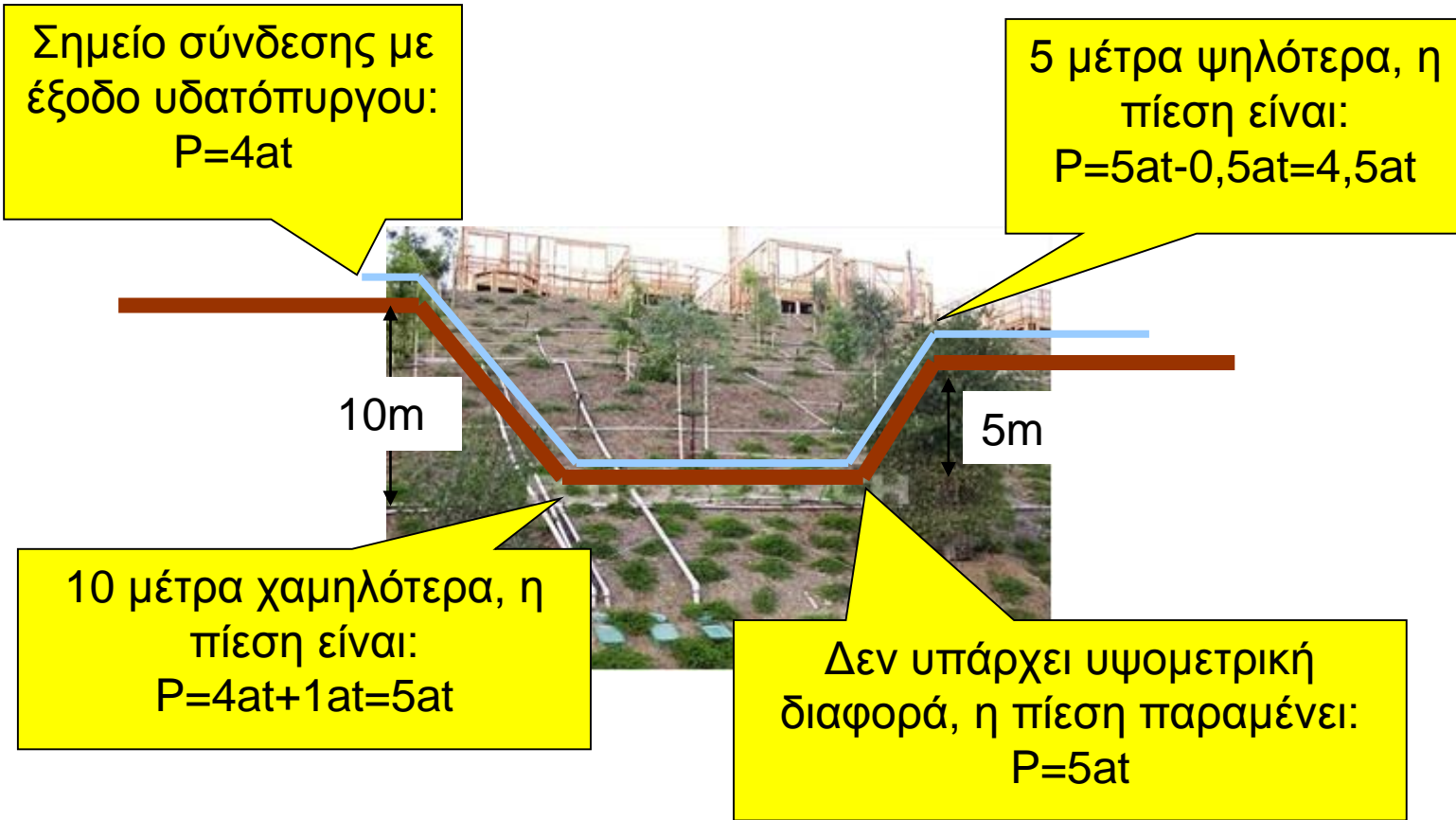


Κλασικό παράδειγμα - Υδατόπυργος





Κλασικό παράδειγμα – Πάνω - κάτω





Υδραυλικό πλήγμα

- Πρόκειται για μεγάλες υπερπιέσεις και υποπιέσεις και οφείλεται σε απότομες μεταβολές της ταχύτητας νερού που κινείται στο αρδευτικό δίκτυο.





Πίεση από αντλίες



- Καταναλώνοντας ενέργεια οι αντλίες δίνουν πίεση στο νερό
- Η ισχύς της αντλίας δίνεται από τη σχέση:

$$N = Q \times h / 270 \times \eta \quad (\text{PS})$$

$$N = Q \times h / 273,6 \times \eta \quad (\text{HP})$$

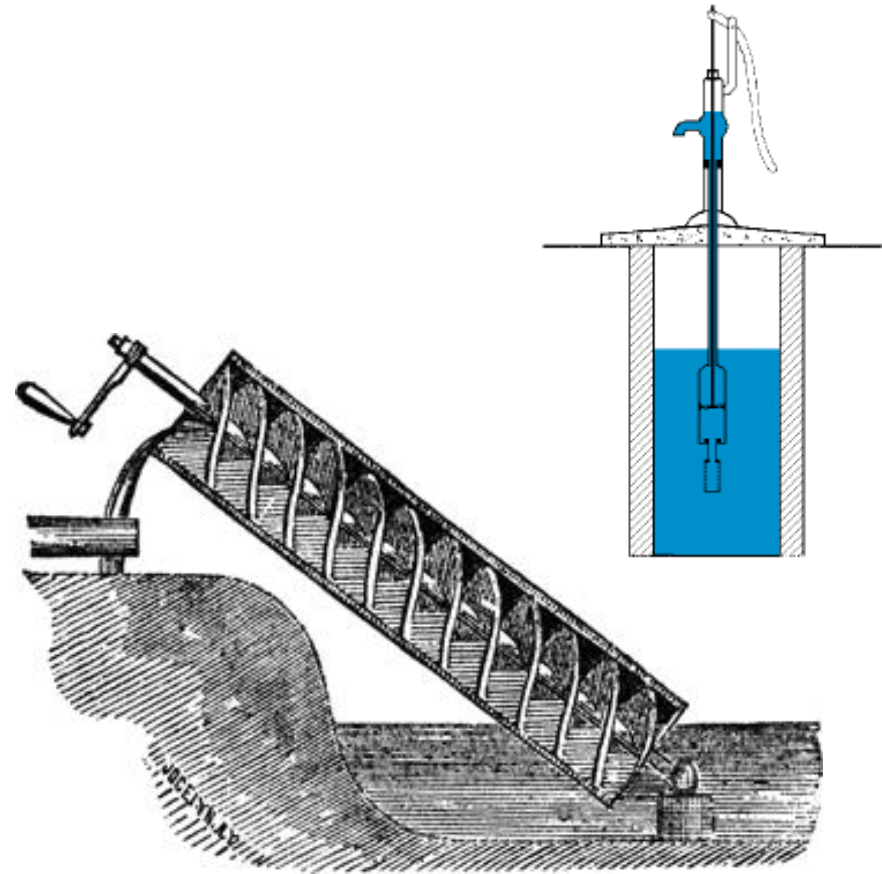
- όπου:
 - Q η παροχή σε m³/h
 - h το μανομετρικό ύψος σε m
 - η ο συντελεστής απόδοσης, συνήθως 0,5-0,8

Η ισχύς του κινητήρα πρέπει να είναι:
1,2 x N για ηλεκτροκινητήρες
1,4 x N για πετρελαιοκινητήρες



Τύποι αντλιών

- Φυγοκεντρικές
 - Αξονικής ροής
 - Ακτινικής ροής
 - Μικτής ροής
- Θετικής μετατόπισης
 - Παλινδρομικές
 - Περιστροφικές





Πίεση από αντλίες

- Για να βρούμε την απαιτούμενη ισχύ πρέπει να γνωρίζουμε την απαιτούμενη παροχή λειτουργίας αλλά και το μανομετρικό ύψος, το οποίο ισούται με:

$$h = h_{αν} + hf_1 + hf_2 + hf_3 + h_{κατ} + P + \Sigma h_t$$

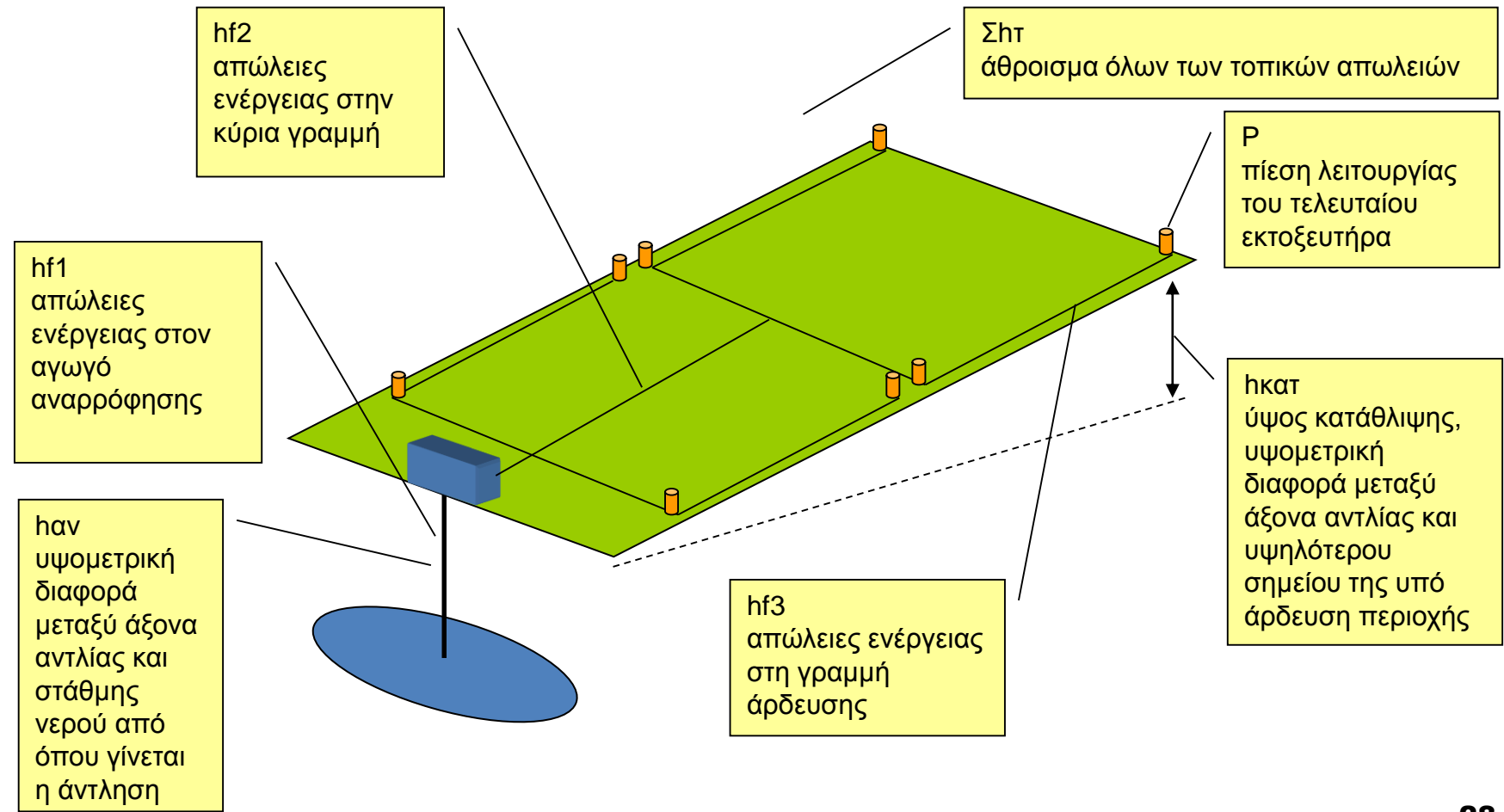
(όλα σε m)

- όπου:
 - h μανομετρικό ύψος αντλίας
 - $h_{αν}$ ύψος αναρρόφησης, υψομετρική διαφορά μεταξύ άξονα αντλίας και στάθμης νερού από όπου γίνεται η άντληση
 - hf_1 απώλειες ενέργειας στον αγωγό αναρρόφησης
 - hf_2 απώλειες ενέργειας στην κύρια γραμμή
 - hf_3 απώλειες ενέργειας στη γραμμή άρδευσης
 - $h_{κατ}$ ύψος κατάθλιψης, υψομετρική διαφορά μεταξύ άξονα αντλίας και υψηλότερου σημείου της υπό άρδευση περιοχής
 - P πίεση λειτουργίας του τελευταίου εκτοξευτήρα
 - Σh_t άθροισμα όλων των τοπικών απωλειών



Πίεση από αντλίες

$$h = h_{αν} + hf_1 + hf_2 + hf_3 + h_{κατ} + P + \Sigma h_T \text{ (όλα σε m)}$$





Καμπύλες λειτουργίας αντλιών και πως τις διαβάζουμε

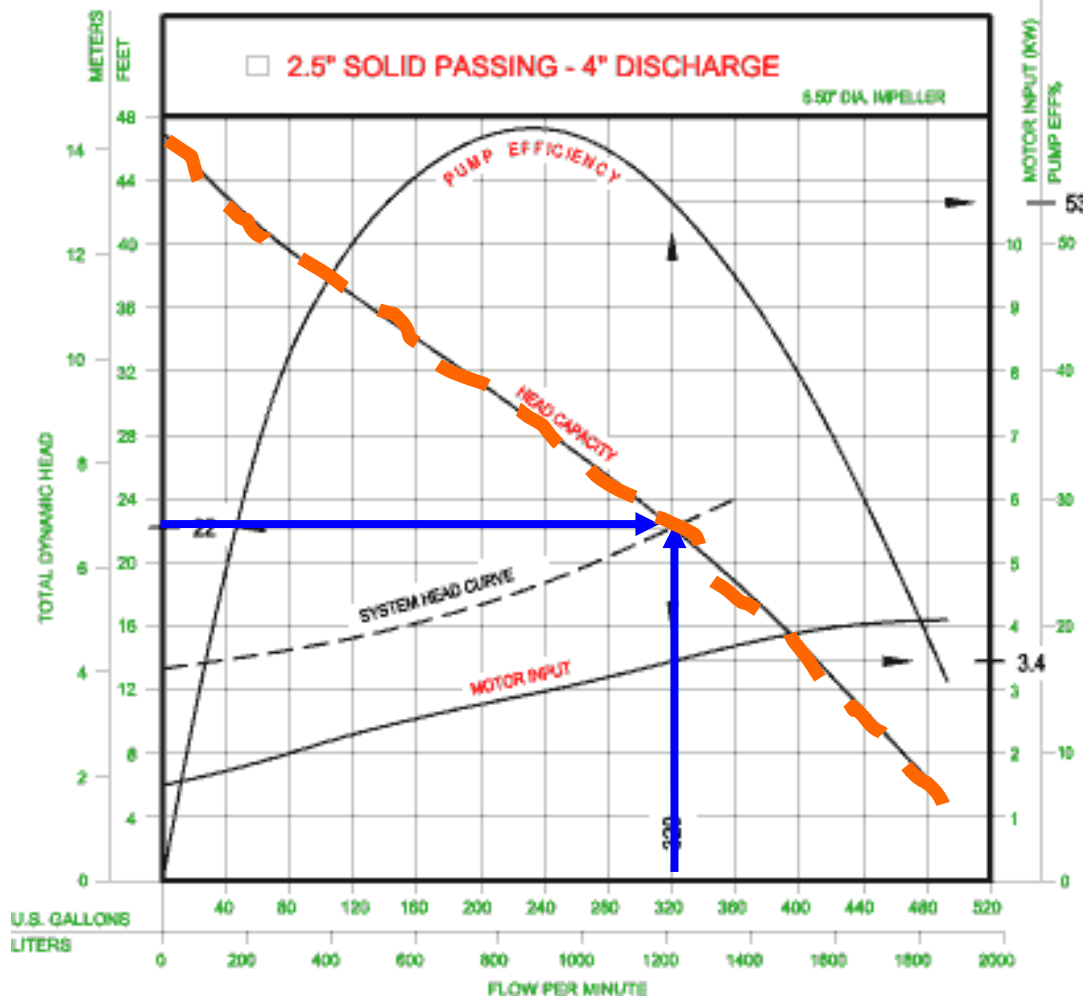
- Οι καμπύλες λειτουργίας αντλιών δημιουργούνται ως αποτέλεσμα ελέγχων λειτουργίας τους (pump test).
- Οι έλεγχοι αυτοί γίνονται στο εργοστάσιο αλλά μπορούν να γίνουν και στον τόπο εγκατάστασης.



Καμπύλες λειτουργίας αντλιών και πως τις διαβάζουμε

- Οι καμπύλες λειτουργίας αντλιών συνήθως παρουσιάζουν το μανομετρικό (head) σε σχέση με την παροχή (capacity), την ισχύ (power input) σε σχέση με με την παροχή, ή την απόδοση της αντλίας (pump efficiency) σε σχέση με με την παροχή.
- Για να εντοπίσουμε τα δεδομένα απόδοσης σε ένα συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας (duty ή operation point) πρώτα εντοπίζουμε πάνω στην καμπύλη μανομετρικού – παροχής το σημείο που αντιστοιχεί στη λειτουργία της αντλίας.

ZOELLER ENGINEERED PRODUCTS PUMPING SYSTEMS
MODEL NO. 6640 1725 RPM SEMI OPEN IMPELLER

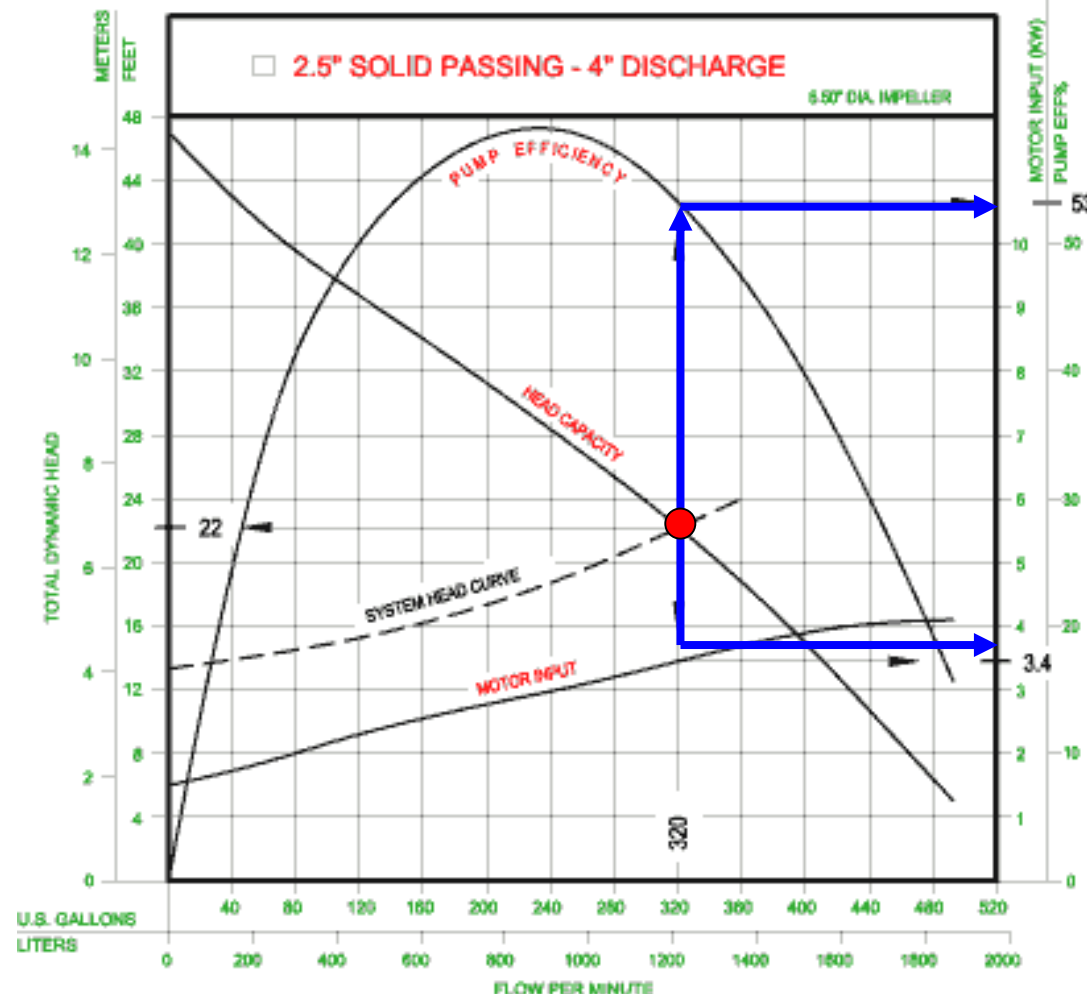




Καμπύλες λειτουργίας αντλιών και πως τις διαβάζουμε

- Αν από το σημείο κινηθείτε κατακόρυφα κάτω έως ότου συναντήσετε την καμπύλη ισχύος κινητήρα (motor input) και από το σημείο τομής κινηθείτε οριζόντια δεξιά, στον άξονα γ θα διαβάσετε την απαιτούμενη ισχύ του κινητήρα της αντλίας.
- Αν από το σημείο κινηθείτε κατακόρυφα πάνω έως ότου συναντήσετε την καμπύλη αποτελεσματικότητας και από το σημείο τομής κινηθείτε οριζόντια δεξιά, στον άξονα γ θα διαβάσετε τον βαθμό απόδοσης της αντλίας.

ZOELLER ENGINEERED PRODUCTS PUMPING SYSTEMS
MODEL NO. 6640 1725 RPM SEMI OPEN IMPELLER



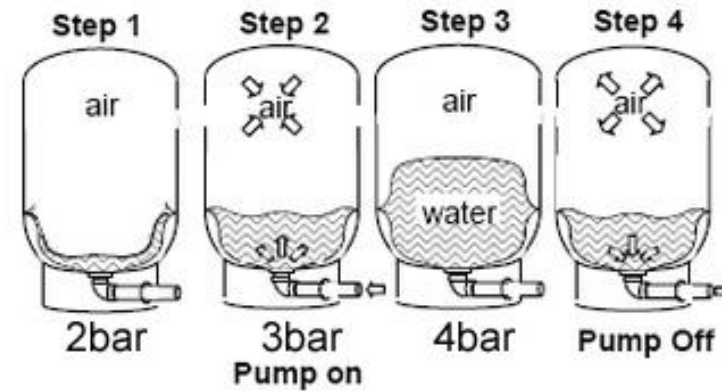


Πιεστικά

- Διατήρηση πίεσης



Κύρια στοιχεία: αντλία,
πιεστικό δοχείο,
πρεσοστάτης



Typical Pump Cycle

- Step 1. Pump Off:** Tank is nearly empty. Air expands to fill tank volume up to the pre-charged pounds per square inch (psi).
- Step 2. Pump Starts:** Water begins to enter the tank, compressing the air.
- Step 3. Pump Stops:** The system reaches maximum pressure. Air is compressed to the cut-off setting of the pressure switch.
- Step 4. Pump Off:** When water is demanded, air pressure forces it into the system, and a new cycle begins.



Αντλία προώθησης [booster pump]

- Αύξηση πίεσης νερού





Απώλειες πίεσης (ενέργειας)

- Οφείλονται στην τριβή μεταξύ νερού και τοιχωμάτων αγωγών και διακρίνονται σε:
 - **Γραμμικές (κίνηση μέσα από αγωγούς) και**
 - **Τοπικές (κίνηση μέσα από εξαρτήματα)**
- Μπορούν να υπολογιστούν θεωρητικά αλλά επειδή πάντα υπάρχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά είναι καλύτερα να χρησιμοποιούνται οι πίνακες κλπ των εργοστασίων παραγωγής των υλικών.



Υδροδυναμική με τύπους



Βασικές αρχές υδροδυναμικής

- Η ροή του νερού είναι πολύπλοκη και δεν υπόκειται πάντα σε ακριβή μαθηματική ανάλυση. Τρεις σημαντικές αρχές διέπουν την ροή των ρευστών:
 1. Η αρχή της διατήρησης της μάζας από την οποία προκύπτει η εξίσωση της συνέχειας.
 2. Η αρχή της ενέργειας από την οποία προκύπτει μία σειρά εξισώσεων ροής και
 3. Η αρχή της διατήρησης της ορμής, στην οποία θεμελιώνονται οι εξισώσεις υπολογισμού των δυνάμεων που ασκούνται από το κινούμενο νερό.



Εξίσωση της συνέχειας

- Η εξίσωση συνέχειας προκύπτει από την αρχή διατήρησης της μάζας και μας λέει ότι για μόνιμη ροή, η μάζα του νερού που περνάει από όλες τις διατομές ενός ρεύματος στη μονάδα του χρόνου είναι η ίδια.

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

- Εκφράζεται με τη σχέση (για ασυμπίεστα ρευστά, $\rho_1 = \rho_2$):

Παροχή στη διατομή 1 = Παροχή στη διατομή 2 = σταθερή



Εξίσωση ενέργειας

- Η εξίσωση της ενέργειας προκύπτει από την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Εκφράζεται με την εξής σχέση:
 - Ενέργεια στη διατομή 1 + Ενέργεια που προστίθεται στη διαδρομή 1-2 – Ενέργεια που χάνεται στη διαδρομή 1-2 – Ενέργεια που αφαιρείται στη διαδρομή 1-2 = Ενέργεια στη διατομή 2
- Αυτή η εξίσωση για μόνιμη ροή ασυμπίεστου ρευστού, παίρνει τη μορφή:

$$\left(\frac{P_1}{\rho \times g} + \frac{V_1^2}{2 \times g} + z_1 \right) + H_A - H_L - H_E = \left(\frac{P_2}{\rho \times g} + \frac{V_2^2}{2 \times g} + z_2 \right)$$



Εξίσωση ενέργειας

$$\left(\frac{P_1}{\rho \times g} + \frac{V_1^2}{2 \times g} + z_1 \right) + H_A - H_L - H_E = \left(\frac{P_2}{\rho \times g} + \frac{V_2^2}{2 \times g} + z_2 \right)$$

- Ονομάζεται και εξίσωση Bernoulli.
- Ο πρώτος όρος στην παρένθεση εκφράζει την ενέργεια πίεσης (ύψος πίεσης), ο δεύτερος την κινητική ενέργεια (ύψος ταχύτητας) και ο τρίτος τη δυναμική ενέργεια (ύψος θέσης).
- Το άθροισμα των υψών πίεσης και θέσης είναι γνωστό ως υδραυλικό ύψος. Σε πολλά προβλήματα το ύψος ταχύτητας έχει πολλή μικρή τιμή σε σχέση με τα υπόλοιπα και μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο.



Εξίσωση ενέργειας

$$\left(\frac{P_1}{\rho \times g} + \frac{V_1^2}{2 \times g} + z_1 \right) + H_A - H_L - H_E = \left(\frac{P_2}{\rho \times g} + \frac{V_2^2}{2 \times g} + z_2 \right)$$

όπου:

- P η πίεση
- V η ταχύτητα
- ρ η πυκνότητα του νερού
- g η επιτάχυνση της βαρύτητας
- z το ύψος σε σχέση με το επίπεδο αναφοράς
- H_A η ενέργεια που προστίθεται στη διαδρομή π.χ. από μία αντλία
- H_L η ενέργεια που χάνεται στη διαδρομή π.χ. από γραμμικές και τοπικές απώλειες
- H_E η ενέργεια που αφαιρείται στη διαδρομή π.χ. από ένα υδροστρόβιλο



Εξισώσεις συνέχειας & ενέργειας

ύψος πίεσης (πίεση)
ύψος ταχύτητας (κινητική ενέργεια)
ύψος θέσης (δυναμική ενέργεια)

υδραυλικό ύψος

$$\left(\frac{P_1}{\rho \times g} + \frac{V_1^2}{2 \times g} + z_1 \right) + H_A - H_L - H_E = \left(\frac{P_2}{\rho \times g} + \frac{V_2^2}{2 \times g} + z_2 \right)$$

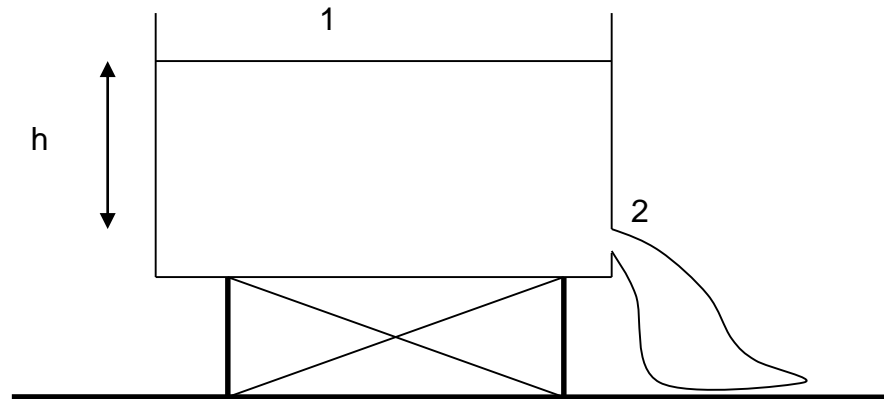
1

2

$$Q_1 = Q_2$$



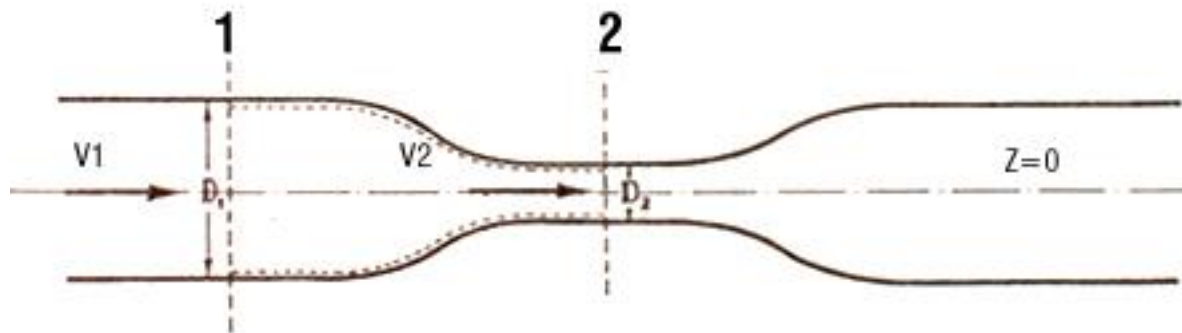
Παράδειγμα



- Θέλουμε να υπολογίσουμε τη θεωρητική παροχή στη θυρίδα στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Θεωρώντας ότι:
 - το νερό στην ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής είναι πρακτικά ακίνητο
 - το επίπεδο αναφοράς ($z=0$) βρίσκεται στο επίπεδο της θυρίδας
 - στα σημεία 1 και 2 η πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική και επειδή δουλεύουμε με σχετικές πιέσεις είναι ίση με 0
- $E_1 = E_2 + hf_{1-2} \Rightarrow (P_1/\gamma + V_1^2/2g + z_1) = (P_2/\gamma + V_2^2/2g + z_2) + 0 \Rightarrow$
- $(0 + 0 + h) = (0 + V_2^2/2g + 0) \Rightarrow V_2 = (2gh)^{1/2}$
- και $Q = A V_2 \Rightarrow Q = A (2gh)^{1/2}$



Παράδειγμα



- Νερό ($\rho=1000\text{kg/m}^3$) περνά από μετρητή Venturi που έχει διαμέτρους $D_1=300\text{mm}$ και $D_2=150\text{mm}$ στις διατομές 1 και 2 αντίστοιχα.
- Υποθέτοντας ομοιόμορφη ροή στις διατομές 1 και 2 και αμελώντας τις απώλειες ενέργειας μεταξύ των διατομών 1 και 2, να βρεθεί η διαφορά πίεσης p_1-p_2 όταν η παροχή είναι $Q=500\text{l/sec}$.



Υπολογισμός διατομής σωλήνων

- Είπαμε ότι θέλουμε ταχύτητα ροής στους σωλήνες έως 1,5m/s (5ft/s), τα πραγματικά όρια είναι:
 - $U_{min} = 0,5\text{m/s}$ (< εναποθέσεις φερτών υλικών)
 - $U_{max} = 2,0\text{m/s}$ (> τυρβώδης ροή, κίνδυνος υδραυλικού πλήγματος)
- Γνωρίζουμε ότι $Q = A \times U$, χρησιμοποιώντας τον τύπο αυτό και τις δύο οριακές ταχύτητες έχουμε τα όρια των διαμέτρων σωλήνα που μπορούμε να επιλέξουμε για δεδομένη διατομή (εσωτερική διάμετρος):
 - $D_{min} = 25,23 \times Q^{1/2}$
 - $D_{max} = 50,46 \times Q^{1/2}$ (Q σε l/s, D_{min} , D_{max} σε mm)



Υπολογισμός απωλειών ενέργειας

- Οι γραμμικές απώλειες κατά μήκος ενός αγωγού υπολογίζονται με τη σχέση (Darcy-Weisbach):

- $h_f = f \times (L/D) \times U^2 / (2 \times g)$ σε m στήλης νερού

όπου:

- f συντελεστής τριβών (αδιάστατος)
 - L, D μήκος και διάμετρος αγωγού σε m
 - U ταχύτητα ροής σε m/s
 - g επιτάχυνση της βαρύτητας, $9,81 \text{m/s}^2$
 - Οι τοπικές απώλειες υπολογίζονται με τη σχέση:
 - $h_e = k \times U^2 / (2 \times g)$
- όπου:
- k αδιάστατος συντελεστής απωλειών εξαρτήματος (πειραματικά)



Υπολογισμός απωλειών ενέργειας

- Άλλη πολύ συχνά χρησιμοποιούμενη σχέση για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών είναι η εξίσωση Hazen-Williams:
- $Hl=100 \cdot (\Delta H/L) = 1,21 \cdot 10^{12} \cdot (Q/C)^{1,852} \cdot D^{-4,87}$ όπου:
 - Hl : οι απώλειες πίεσης σε $m/100m$ αγωγού
 - ΔH : η απώλεια πίεσης στο εξεταζόμενο μήκος αγωγού σε m
 - L : το μήκος του αγωγού σε m
 - Q : η παροχή του αγωγού σε l/s
 - C : ο συντελεστής τριβής (ανάλογα με υλικό και διάμετρο)
 - D : η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα σε mm



Υπολογισμός απωλειών ενέργειας

- Γραμμικές απώλειες (συντελεστές τριβών f):
 - Για στρωτή ροή ($R_e < 2.320$), ισχύει $f = 64/R_e$ (Hagen-Poiseuille)
 - Για τυρβώδη ροή υδραυλικώς λείας συμπεριφοράς ($3.000 < R_e < 100.000$) ισχύει: $f = 0,316/(R_e^{1/4})$ (Blasius)



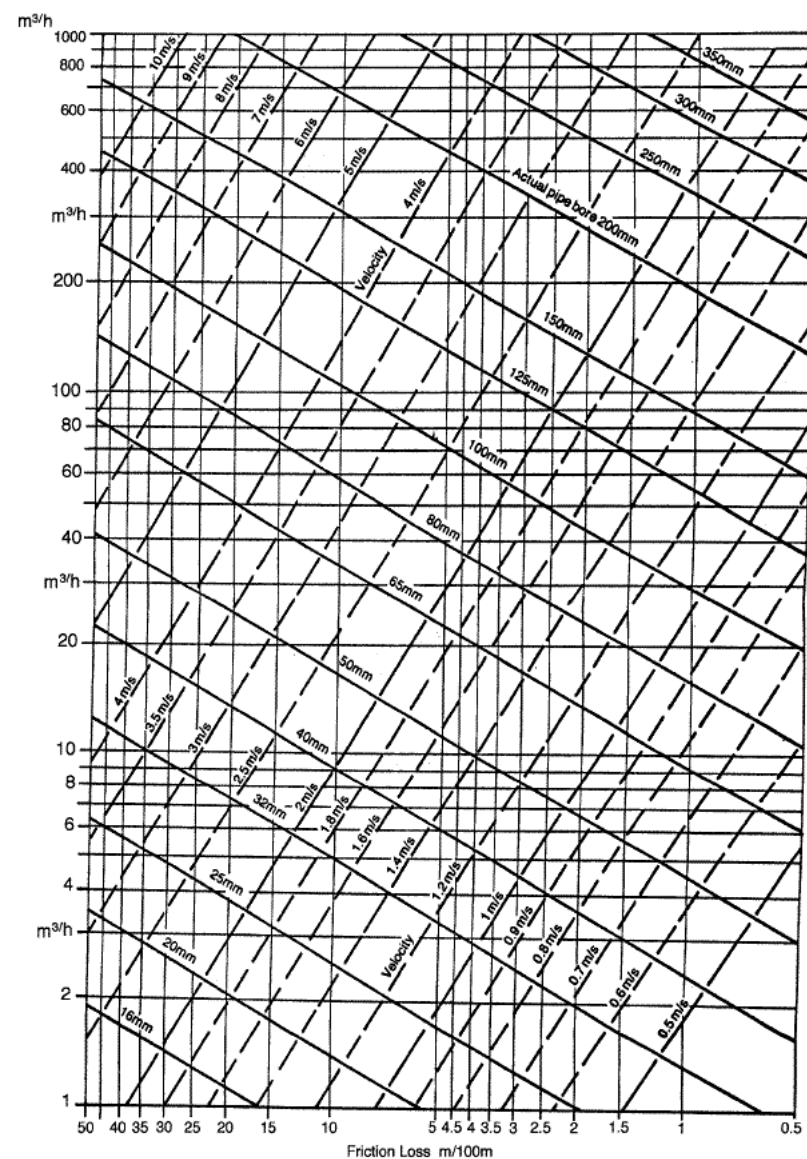
Υπολογισμός απωλειών ενέργειας

- Οι γραμμικές απώλειες κατά μήκος ενός αγωγού που φέρει εξόδους (π.χ. σταλάκτες, εκτοξευτήρες) υπολογίζονται με τη σχέση (Darcy-Weisbach):
 - $hf = F \times f \times (L/D) \times U^2 / (2 \times g)$ σε m στήλης νερού
- όπου:
 - F διορθωτικός συντελεστής ανάλογα με τον αριθμό εξόδων (ενδεικτικά αναφέρεται ότι για 1 έξοδο $F=1$, για 2 εξόδους $F=0,625$, για 10 εξόδους $F=0,385$ και για 100 εξόδους $F=0,338$)
 - f συντελεστής τριβών (αδιάστατος)
 - L, D μήκος και διάμετρος αγωγού σε m
 - U ταχύτητα ροής σε m/s
 - g επιτάχυνση της βαρύτητας, $9,81\text{m/s}^2$



Υπολογισμός απωλειών ενέργειας

Γραμμικές απώλειες (νομογράφημα):

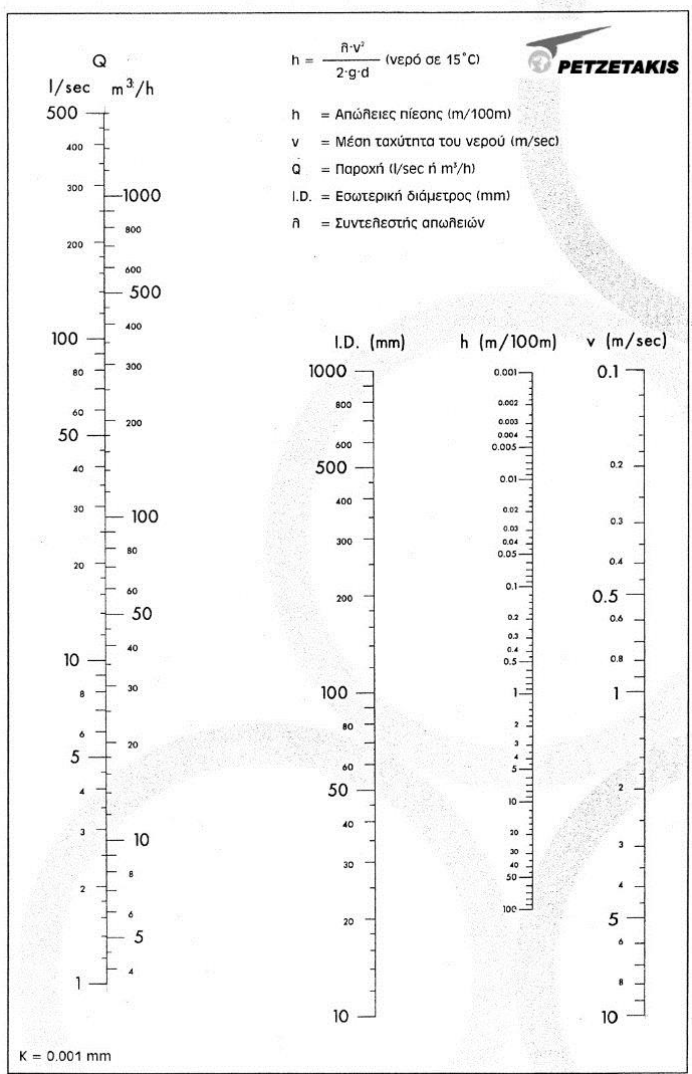




Υπολογισμός απωλειών ενέργειας

Γραμμικές απώλειες (νομογράφημα):

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΠΙΕΣΗΣ ΣΩΛΗΝΩΝ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ





Υπολογισμός απωλειών ενέργειας

Γραμμικές απώλειες (πίνακας):

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΡΙΒΝΕΣ ΕΡΛΑΝΝΟΝ ΤΥΠΟΥ Class 200

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΙΣΤΗΣΗΣ ΑΜΑ ΜΗΚΟΣ ΣΩΛΗΝΑ (PSI / FT)

ΠΑΡΟΧΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ GPM (ft/sec)	ΔΙΑΤΟΜΗ													
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	GPM		
1	0.8	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	1	½"
2	1.6	0.04	0.07	0.15	0.22	0.30	0.37	0.44	0.52	0.59	0.67	0.74	2	(0.720"
3	2.4	0.08	0.16	0.31	0.47	0.62	0.78	0.94	1.09	1.25	1.40	1.56	3	inside
4	3.2	0.13	0.27	0.54	0.80	1.07	1.34	1.61	1.88	2.14	2.41	2.68	4	diameter)
5	4.0	0.20	0.40	0.81	1.21	1.62	2.02	2.42	2.83	3.23	3.64	4.04	5	
6	4.8	0.29	0.58	1.15	1.73	2.30	2.88	3.46	4.03	4.61	5.18	5.76	6	
7	5.6	0.38	0.77	1.53	2.30	3.06	3.83	4.60	5.36	6.13	6.89	7.66	7	
8	6.4	0.49	0.98	1.96	2.93	3.91	4.89	5.87	6.85	7.82	8.80	9.78	8	
2	0.9	0.01	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20	0.22	2	¾"
4	1.9	0.04	0.08	0.16	0.23	0.31	0.39	0.47	0.55	0.63	0.70	0.78	4	(0.930"
6	2.8	0.09	0.17	0.34	0.50	0.66	0.83	1.00	1.16	1.34	1.49	1.66	6	inside
8	3.8	0.14	0.28	0.56	0.85	1.14	1.42	1.70	1.99	2.27	2.56	2.84	8	diameter)
10	4.7	0.22	0.43	0.86	1.29	1.72	2.15	2.58	3.01	3.45	3.87	4.30	10	
12	5.7	0.30	0.60	1.20	1.80	2.40	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00	12	
14	6.6	0.40	0.80	1.60	2.40	3.20	4.00	4.80	5.60	6.40	7.20	8.00	14	
6	1.7	0.03	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	6	1"
8	2.3	0.05	0.09	0.17	0.26	0.34	0.43	0.52	0.60	0.69	0.77	0.86	8	(1.189"
10	2.9	0.07	0.13	0.26	0.39	0.52	0.65	0.78	0.91	1.04	1.17	1.30	10	inside
12	3.5	0.09	0.18	0.37	0.55	0.74	0.92	1.10	1.29	1.47	1.66	1.84	12	diameter)
14	4.1	0.12	0.24	0.48	0.73	0.97	1.21	1.45	1.69	1.94	2.18	2.42	14	
16	4.7	0.16	0.31	0.62	0.93	1.24	1.55	1.86	2.17	2.48	2.79	3.10	16	
18	5.2	0.20	0.39	0.77	1.16	1.54	1.93	2.32	2.70	3.09	3.47	3.86	18	
20	5.8	0.24	0.47	0.94	1.40	1.87	2.34	2.81	3.28	3.74	4.21	4.68	20	
22	6.4	0.29	0.57	1.13	1.70	2.26	2.83	3.40	3.96	4.53	5.09	5.66	22	
24	6.9	0.33	0.66	1.32	1.99	2.65	3.31	3.97	4.63	5.30	5.96	6.62	24	
10	1.8	0.02	0.04	0.08	0.13	0.17	0.21	0.25	0.29	0.34	0.38	0.42	10	1¼"
12	2.2	0.03	0.06	0.12	0.17	0.23	0.29	0.35	0.41	0.46	0.52	0.58	12	(1.502"
14	2.6	0.04	0.08	0.16	0.23	0.31	0.39	0.47	0.55	0.62	0.70	0.78	14	inside
16	2.9	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	16	diameter)
18	3.3	0.06	0.12	0.25	0.37	0.50	0.62	0.74	0.87	0.99	1.12	1.24	18	
20	3.6	0.08	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05	1.20	1.35	1.50	20	
22	4.0	0.09	0.18	0.36	0.54	0.72	0.90	1.08	1.26	1.44	1.62	1.80	22	
24	4.3	0.11	0.21	0.42	0.63	0.84	1.05	1.26	1.47	1.68	1.89	2.10	24	
26	4.7	0.12	0.24	0.49	0.73	0.98	1.22	1.46	1.71	1.95	2.20	2.44	26	
28	5.1	0.14	0.28	0.56	0.84	1.12	1.40	1.68	1.96	2.24	2.52	2.80	28	
30	5.5	0.16	0.32	0.64	0.95	1.27	1.59	1.91	2.23	2.54	2.86	3.18	30	
32	5.8	0.18	0.36	0.72	1.07	1.43	1.79	2.15	2.51	2.86	3.22	3.58	32	
34	6.2	0.20	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00	34	
36	6.6	0.22	0.45	0.89	1.33	1.78	2.22	2.66	3.11	3.55	4.00	4.44	36	
15	2.2	0.03	0.05	0.09	0.14	0.18	0.23	0.28	0.32	0.37	0.41	0.46	15	1½"
20	2.8	0.04	0.08	0.16	0.23	0.31	0.39	0.47	0.55	0.62	0.70	0.78	20	(1.720"
25	3.5	0.06	0.12	0.24	0.35	0.47	0.59	0.71	0.83	0.94	1.06	1.18	25	inside
30	4.1	0.08	0.16	0.33	0.49	0.66	0.82	0.98	1.15	1.31	1.48	1.64	30	diameter)
35	4.8	0.11	0.22	0.44	0.65	0.87	1.09	1.31	1.53	1.74	1.96	2.18	35	
40	5.5	0.14	0.28	0.56	0.84	1.12	1.40	1.68	1.96	2.24	2.52	2.80	40	
45	6.2	0.18	0.35	0.70	1.04	1.39	1.74	2.09	2.44	2.78	3.13	3.48	45	
50	6.9	0.21	0.42	0.85	1.27	1.70	2.12	2.54	2.97	3.39	3.82	4.24	50	



Τοπικές απώλειες (συντελεστής k)

- Για τον υπολογισμό του συντελεστή k προτείνονται:
 - Διεύρυνση αγωγού: $k=(1-(D_1^2/D_2^2))^2$
 - Στένωση αγωγού: $k=((1/c)-1) c=0,585+0,415 (D_1/D_2)^2$
 - Αλλαγή κατεύθυνσης:
 - απότομη 90° $k=1,5$
 - ομαλή 90° $k=0,25$



Τοπικές απώλειες (συντελεστής k)

Αναλογία διατομών E1/E2	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
k διεύρυνση	1,0	0,81	0,64	0,49	0,36	0,25	0,16	0,09	0,04	0,01	0,0
k στένωση	0,50	0,48	0,45	0,41	0,36	0,29	0,21	0,13	0,07	0,01	0,0
Γωνία θ (°)	5	20	30	Για $\theta=90^\circ$ ισχύει $k=0,131+1,847(D/R)^{3/5}$ R: ακτίνα καμπύλης και D: διάμετρος αγωγού Για άλλες γωνίες με $\theta<90^\circ$ $k=k_{90^\circ} \times (\theta/90)$							
k γωνία	0,50	0,41	0,13								



Τοπικές απώλειες (συντελεστής k)

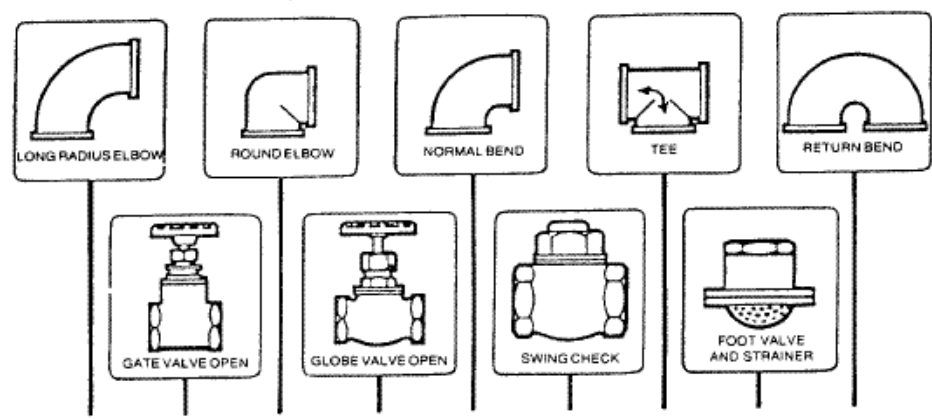
<table border="1"> <thead> <tr> <th>$\frac{R_0}{D}$</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.5</td><td>0.90</td></tr> <tr><td>0.75</td><td>0.45</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.20</td></tr> </tbody> </table>	$\frac{R_0}{D}$	K	0.5	0.90	0.75	0.45	1.0	0.35	1.5	0.25	2	0.20	<table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>15°</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>30°</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>45°</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>60°</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>90°</td><td>1.3</td></tr> </tbody> </table>	α	K	15°	0.1	30°	0.2	45°	0.5	60°	0.7	90°	1.3
$\frac{R_0}{D}$	K																								
0.5	0.90																								
0.75	0.45																								
1.0	0.35																								
1.5	0.25																								
2	0.20																								
α	K																								
15°	0.1																								
30°	0.2																								
45°	0.5																								
60°	0.7																								
90°	1.3																								
<p style="text-align: center;">$K = 1.4$</p>	<p style="text-align: center;">$K_1 = 0$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>K_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>15°</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>30°</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>45°</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>60°</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>90°</td><td>1.3</td></tr> </tbody> </table>	α	K_2	15°	0.1	30°	0.3	45°	0.5	60°	0.7	90°	1.3												
α	K_2																								
15°	0.1																								
30°	0.3																								
45°	0.5																								
60°	0.7																								
90°	1.3																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>$\frac{R_0}{D}$</th> <th>K_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.5</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>0.75</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>1</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.2</td></tr> </tbody> </table>	$\frac{R_0}{D}$	K_1	0.5	1.2	0.75	0.6	1	0.4	1.5	0.25	2.0	0.2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>K_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>15°</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>30°</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>45°</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>60°</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>90°</td><td>1.4</td></tr> </tbody> </table>	α	K_1	15°	0.1	30°	0.3	45°	0.7	60°	1.0	90°	1.4
$\frac{R_0}{D}$	K_1																								
0.5	1.2																								
0.75	0.6																								
1	0.4																								
1.5	0.25																								
2.0	0.2																								
α	K_1																								
15°	0.1																								
30°	0.3																								
45°	0.7																								
60°	1.0																								
90°	1.4																								

<p style="text-align: center;">$K = 0.9$ $K = 0.5$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>$\frac{R}{D}$</th> <th>k</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>0.05</td></tr> </tbody> </table>	$\frac{R}{D}$	k	0.2	0.2	0.5	0.1	0.8	0.05																
$\frac{R}{D}$	k																								
0.2	0.2																								
0.5	0.1																								
0.8	0.05																								
<p style="text-align: center;">$K = 1$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>$\frac{d}{D}$</th> <th>K_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.1</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>2.9</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>2.3</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>0.9</td><td>1.5</td></tr> </tbody> </table>	$\frac{d}{D}$	K_1	0.1	2.5	0.2	2.5	0.4	2.9	0.6	2.3	0.8	1.9	0.9	1.5										
$\frac{d}{D}$	K_1																								
0.1	2.5																								
0.2	2.5																								
0.4	2.9																								
0.6	2.3																								
0.8	1.9																								
0.9	1.5																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>$\frac{D_1}{D_2}$</th> <th>K_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.1</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>0.2</td></tr> </tbody> </table>	$\frac{D_1}{D_2}$	K_1	0.1	1.0	0.2	0.9	0.4	0.7	0.6	0.4	0.8	0.2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>$\frac{D_2}{D_1}$</th> <th>K_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.1</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>0.2</td></tr> </tbody> </table>	$\frac{D_2}{D_1}$	K_2	0.1	0.6	0.2	0.9	0.4	0.4	0.6	0.3	0.8	0.2
$\frac{D_1}{D_2}$	K_1																								
0.1	1.0																								
0.2	0.9																								
0.4	0.7																								
0.6	0.4																								
0.8	0.2																								
$\frac{D_2}{D_1}$	K_2																								
0.1	0.6																								
0.2	0.9																								
0.4	0.4																								
0.6	0.3																								
0.8	0.2																								



Τοπικές απώλειες (συντελεστής k)

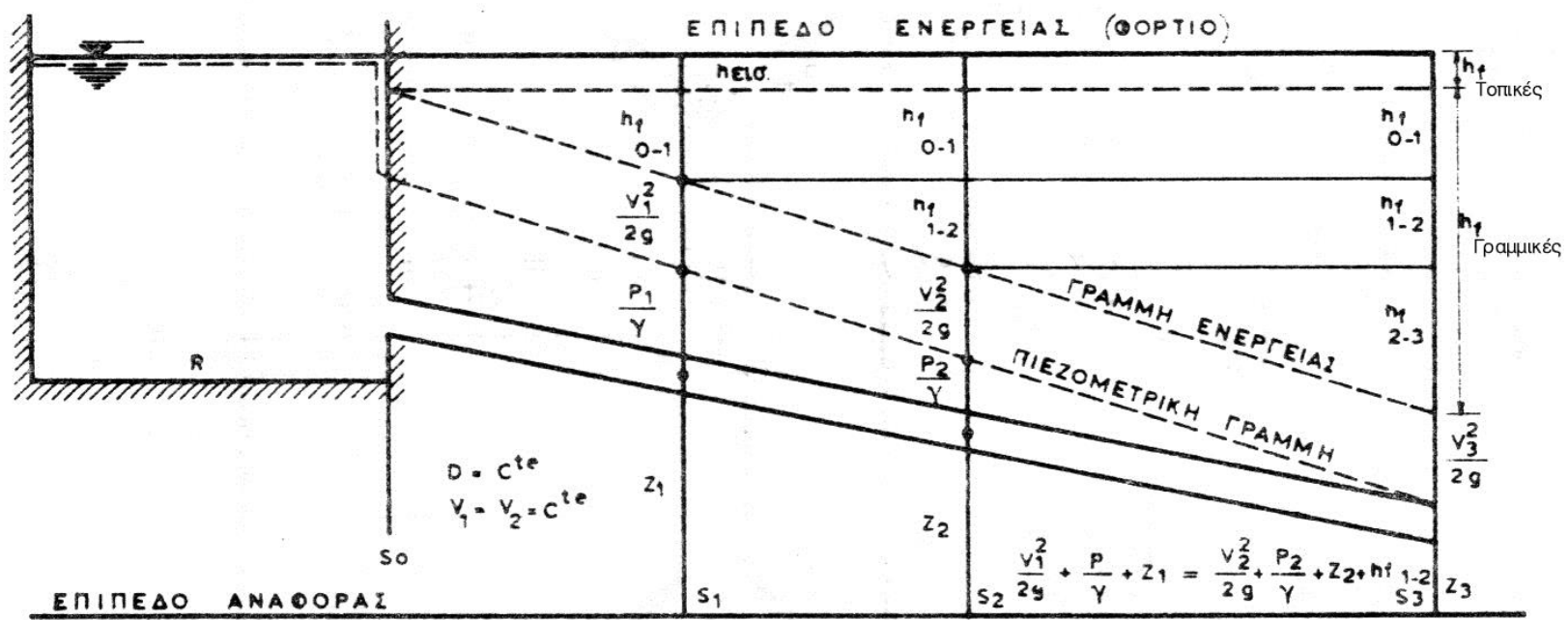
Τοπικές απώλειες
(ισοδύναμα μήκη):



Pipe size mm	Equivalent length of straight pipe in metres, for calculating friction loss								
20	0.3	0.3	0.6	6.7	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5
25	0.3	0.3	0.8	8.2	0.5	2.0	1.8	2.3	2.0
32	0.3	0.6	0.9	11.3	0.8	2.6	2.4	2.7	2.6
40	0.4	0.6	1.1	13.4	0.9	3.1	2.7	3.4	3.1
50	0.5	0.8	1.4	17.4	1.1	4.0	3.4	4.6	4.0
65	0.6	0.9	1.7	20.1	1.4	5.2	4.3	5.5	4.6
80	0.8	1.1	2.1	26.0	1.5	6.1	5.2	6.7	5.5
100	1.1	1.5	2.7	34.0	2.1	8.2	6.7	8.8	7.3
125	1.2	1.8	3.7	43.0	2.7	10.0	8.2	11.0	9.5
150	1.5	2.1	4.3	49.0	3.4	12.2	10.0	14.0	11.0
200	2.1	3.1	5.5	67.0	4.3	16.5	13.4	18.0	15.0
250	2.4	3.7	7.3	85.4	5.5	20.0	16.5	22.0	19.0
300	3.1	4.3	8.5	98.0	6.7	24.4	20.0	27.4	23.0



Γραμμές ενέργειας



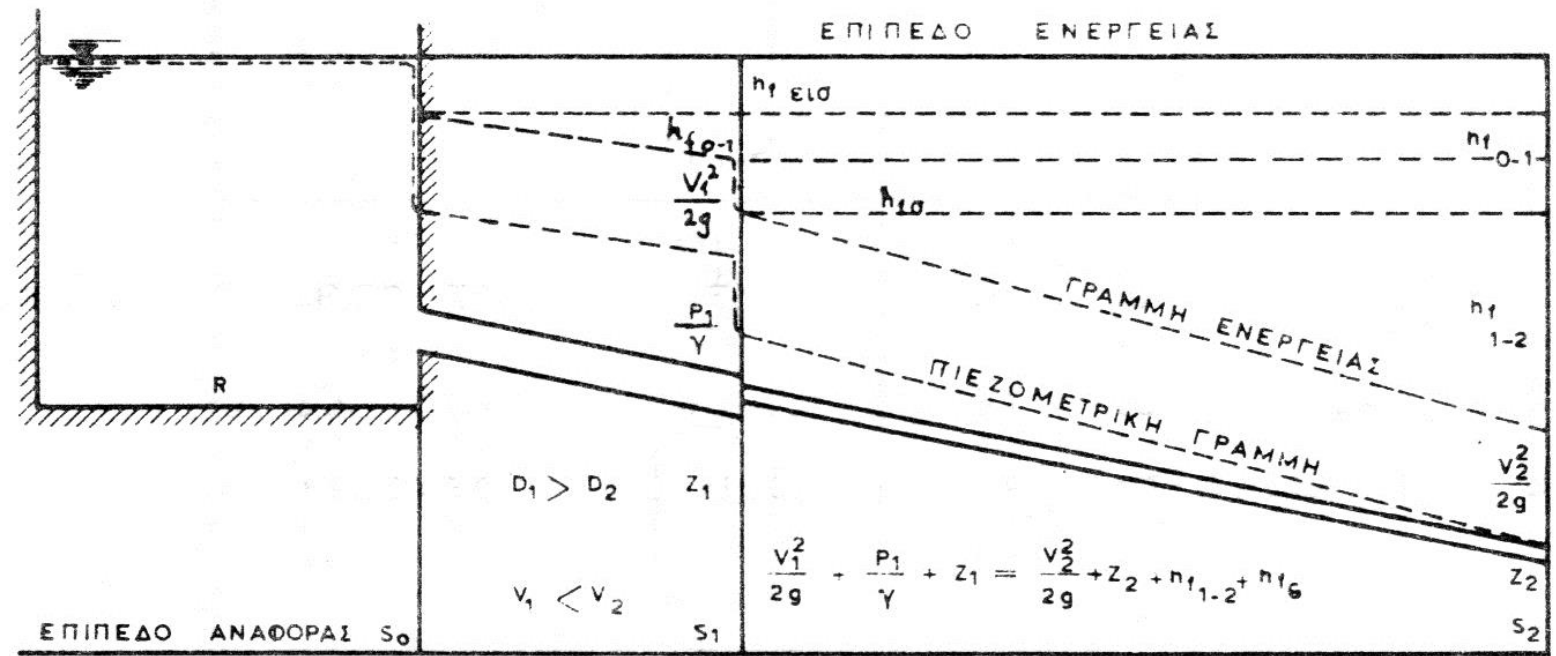
α. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΓΩΓΟΥ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (ΠΑΡΟΧΗ Q=σταθ. V₁ = V₂)

Λόγω του νόμου της συνέχειας Q=σταθερό και αφού δεν αλλάζει η διατομή V₁=V₂.

Εάν δεν υπήρχαν απώλειες η ταχύτητα θα αύξανε καθώς προχωρούσαμε όμως υπάρχουν.



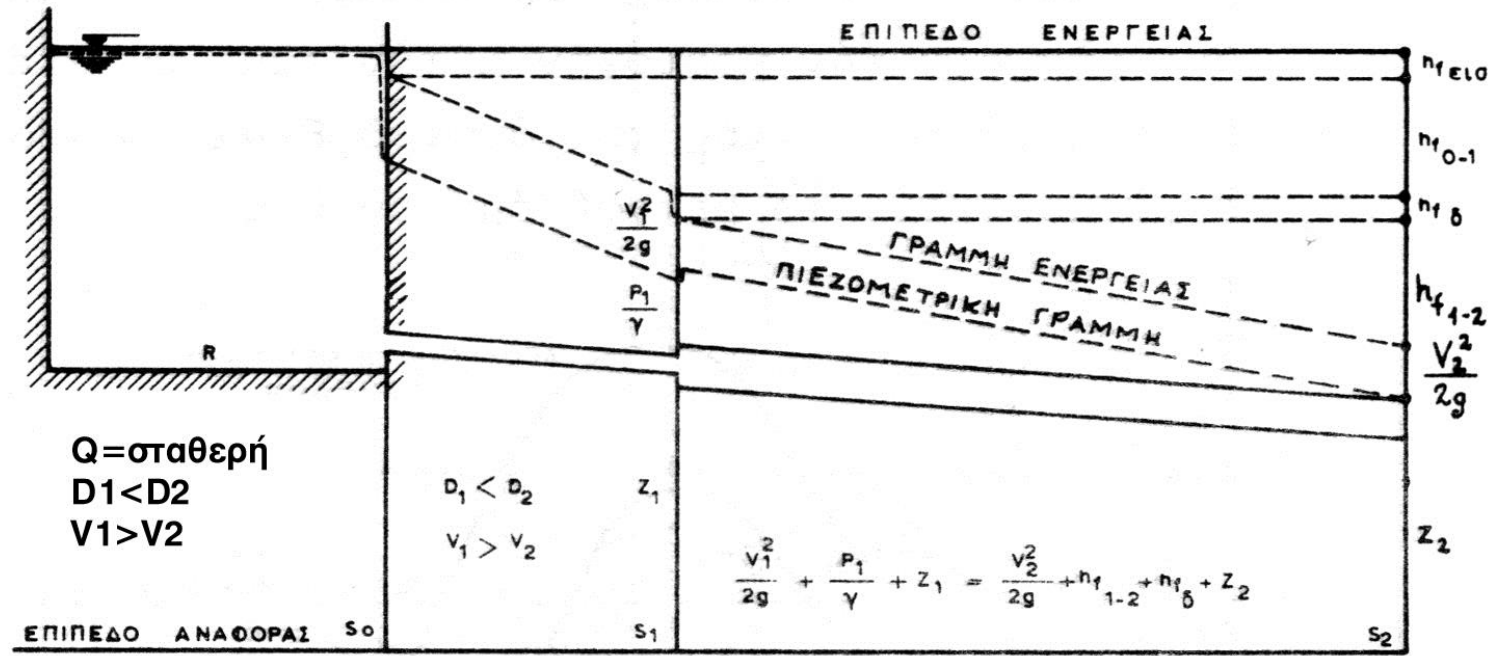
Γραμμές ενέργειας



β. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΓΟΓΟΥ ΜΕ ΑΠΟΤΟΜΗ ΣΤΕΝΩΣΗ ($Q = \text{ΣΤΑΘ.}, D_1 > D_2, v_1 < v_2$)



Γραμμές ενέργειας



γ. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΓΩΓΟΥ ΜΕ ΑΠΟΤΟΜΗ ΔΙΕΥΡΥΝΣΗ

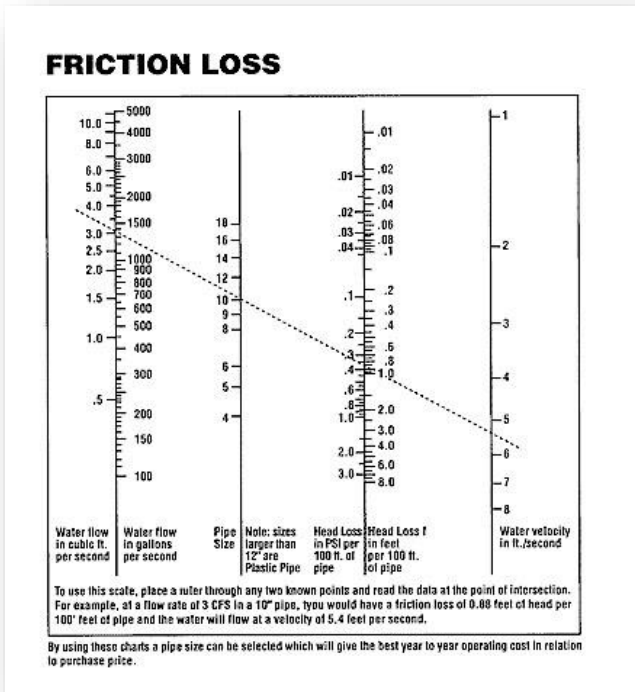


Ανοικτοί αγωγοί

- Ανοικτός αγωγός είναι κάθε αγωγός όπου το ρευστό περιορίζεται μόνο από τα πλαινά τοιχώματα και τον πυθμένα, ενώ διατηρεί ελεύθερη επιφάνεια. Στην αρχιτεκτονική τοπίου οι ανοικτοί αγωγοί χρησιμοποιούνται συχνά ως διακοσμητικά στοιχεία.
- Οι πιο συνηθισμένες μορφές ανοικτών αγωγών είναι οι τραπεζοειδείς και οι ορθογώνιοι.



Παράδειγμα υπολογισμού διατομής και ελέγχου πιέσεων





Η εγκύκλιος ΥΠΕΧΩΔΕ
Δ24714/20-10-1969
καθορίζει ως ελάχιστη
ταχύτητα ροής του νερού
στους αγωγούς τα $0,5\text{m/s}$
και ως μέγιστη τα 2m/s .



∅

“

mm





Εκτίμηση απωλειών ενέργειας

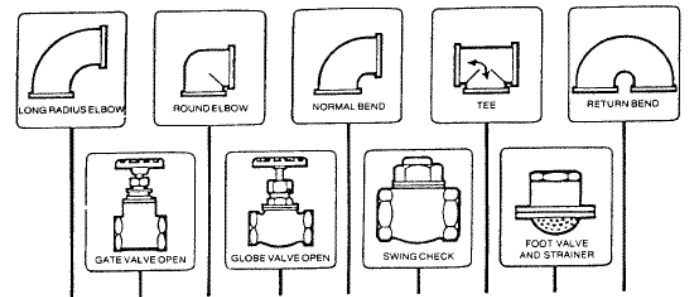
Γραμμικές απώλειες:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΡΙΒΩΣ ΕΡΛΗΝΩΝ ΤΥΠΟΥ Class 200

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΙΣΤΩΣΗΣ ΑΜΑ ΜΗΤΟΣ ΞΟΝΗΜΑ (PSI / FT)

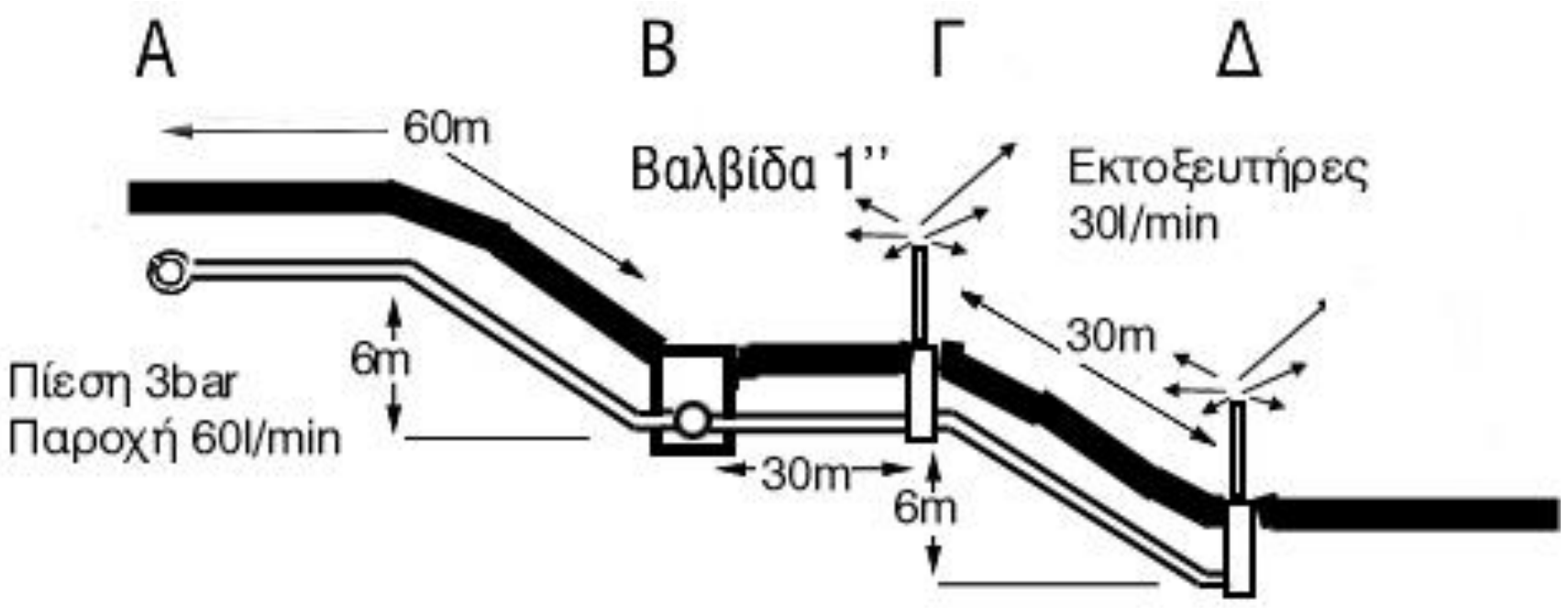
ΠΑΡΟΧΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ GPM (ft/sec) 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 GPM	ΔΙΑΤΟΜΗ
1 0.8 0.01 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10 0.12 0.14 0.16 0.18 0.20	1 ½"
2 1.6 0.04 0.07 0.15 0.22 0.30 0.37 0.44 0.52 0.59 0.67 0.74	2 [0.720" inside diameter]
3 2.4 0.08 0.16 0.31 0.47 0.62 0.78 0.94 1.09 1.25 1.40 1.56	3
4 3.2 0.13 0.27 0.54 0.80 1.07 1.34 1.61 1.88 2.14 2.41 2.68	4
5 4.0 0.20 0.40 0.81 1.21 1.62 2.02 2.42 2.83 3.23 3.64 4.04	5
6 4.8 0.29 0.58 1.15 1.73 2.30 2.88 3.46 4.03 4.61 5.18 5.76	6
7 5.6 0.38 0.77 1.53 2.30 3.06 3.83 4.60 5.36 6.13 6.89 7.66	7
8 6.4 0.49 0.98 1.96 2.93 3.91 4.89 5.87 6.85 7.82 8.80 9.78	8
2 0.9 0.01 0.02 0.04 0.07 0.09 0.11 0.13 0.15 0.18 0.20 0.22	2 ¾"
4 1.9 0.04 0.08 0.16 0.23 0.31 0.39 0.47 0.55 0.63 0.70 0.78	4 [0.930" inside diameter]
6 2.8 0.09 0.17 0.34 0.50 0.66 0.83 1.00 1.16 1.34 1.49 1.66	6
8 3.8 0.14 0.28 0.56 0.85 1.14 1.42 1.70 1.99 2.27 2.56 2.84	8
10 4.7 0.22 0.43 0.86 1.29 1.72 2.15 2.58 3.01 3.45 3.87 4.30	10
12 5.7 0.30 0.60 1.20 1.80 2.40 3.00 3.60 4.20 4.80 5.40 6.00	12
14 6.6 0.40 0.80 1.60 2.40 3.20 4.00 4.80 5.60 6.40 7.20 8.00	14
6 1.7 0.03 0.05 0.10 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 0.40 0.45 0.50	6 1"
8 2.3 0.05 0.09 0.17 0.26 0.34 0.43 0.52 0.60 0.69 0.77 0.86	8 [1.189" inside diameter]
10 2.9 0.07 0.13 0.26 0.39 0.52 0.65 0.78 0.91 1.04 1.17 1.30	10
12 3.5 0.09 0.18 0.37 0.55 0.74 0.92 1.10 1.29 1.47 1.66 1.84	12
14 4.1 0.12 0.24 0.48 0.73 0.97 1.21 1.45 1.69 1.94 2.18 2.42	14
16 4.7 0.16 0.31 0.62 0.93 1.24 1.55 1.86 2.17 2.48 2.79 3.10	16
18 5.2 0.20 0.39 0.77 1.16 1.54 1.93 2.32 2.70 3.09 3.47 3.86	18
20 5.8 0.24 0.47 0.94 1.40 1.87 2.34 2.81 3.28 3.74 4.21 4.68	20
22 6.4 0.29 0.57 1.13 1.70 2.26 2.83 3.40 3.96 4.53 5.09 5.66	22
24 6.9 0.33 0.66 1.32 1.99 2.65 3.31 3.97 4.63 5.30 5.96 6.62	24
10 1.8 0.02 0.04 0.08 0.13 0.17 0.21 0.25 0.29 0.34 0.38 0.42	10 1 ¼"
12 2.2 0.03 0.06 0.12 0.17 0.23 0.29 0.35 0.41 0.46 0.52 0.58	12 [1.502" inside diameter]
14 2.6 0.04 0.08 0.16 0.23 0.31 0.39 0.47 0.55 0.62 0.70 0.78	14
16 2.9 0.05 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00	16
18 3.3 0.06 0.12 0.25 0.37 0.50 0.62 0.74 0.87 0.99 1.12 1.24	18
20 3.6 0.08 0.15 0.30 0.45 0.60 0.75 0.90 1.05 1.20 1.35 1.50	20
22 4.0 0.09 0.18 0.36 0.54 0.72 0.90 1.08 1.26 1.44 1.62 1.80	22
24 4.3 0.11 0.21 0.42 0.63 0.84 1.05 1.26 1.47 1.68 1.89 2.10	24
26 4.7 0.12 0.24 0.49 0.73 0.98 1.22 1.46 1.71 1.95 2.20 2.44	26
28 5.1 0.14 0.28 0.56 0.84 1.12 1.40 1.68 1.96 2.24 2.52 2.80	28
30 5.5 0.16 0.32 0.64 0.95 1.27 1.59 1.91 2.23 2.54 2.86 3.18	30
32 5.8 0.18 0.36 0.72 1.07 1.43 1.79 2.15 2.51 2.86 3.22 3.58	32
34 6.2 0.20 0.40 0.80 1.20 1.60 2.00 2.40 2.80 3.20 3.60 4.00	34
36 6.6 0.22 0.45 0.89 1.33 1.78 2.22 2.66 3.11 3.55 4.00 4.44	36
15 2.2 0.03 0.05 0.09 0.14 0.18 0.23 0.28 0.32 0.37 0.41 0.46	15 1 ½"
20 2.8 0.04 0.08 0.16 0.23 0.31 0.39 0.47 0.55 0.62 0.70 0.78	20 [1.702" inside diameter]
25 3.5 0.06 0.12 0.24 0.35 0.47 0.59 0.71 0.83 0.94 1.06 1.18	25
30 4.1 0.08 0.16 0.33 0.49 0.66 0.82 0.98 1.15 1.31 1.48 1.64	30
35 4.8 0.11 0.22 0.44 0.65 0.87 1.09 1.31 1.53 1.74 1.96 2.18	35
40 5.5 0.14 0.28 0.56 0.84 1.12 1.40 1.68 1.96 2.24 2.52 2.80	40
45 6.2 0.18 0.35 0.70 1.04 1.39 1.74 2.09 2.44 2.78 3.13 3.48	45
50 6.9 0.21 0.42 0.85 1.27 1.70 2.12 2.54 2.97 3.39 3.82 4.24	50

Τοπικές απώλειες (ισοδύναμα μήκη):



Pipe size mm **Equivalent length of straight pipe in metres, for calculating friction loss**

Pipe size mm	20	0.3	0.3	0.6	6.7	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5
20	0.3	0.3	0.8	8.2	0.5	2.0	1.8	2.3	2.0	
25	0.3	0.6	0.9	11.3	0.8	2.6	2.4	2.7	2.6	
32	0.4	0.6	1.1	13.4	0.9	3.1	2.7	3.4	3.1	
40	0.5	0.8	1.4	17.4	1.1	4.0	3.4	4.6	4.0	
50	0.6	0.9	1.7	20.1	1.4	5.2	4.3	5.5	4.6	
65	0.8	1.1	2.1	26.0	1.5	6.1	5.2	6.7	5.5	
80	1.1	1.5	2.7	34.0	2.1	8.2	6.7	8.8	7.3	
100	1.2	1.8	3.7	43.0	2.7	10.0	8.2	11.0	9.5	
150	1.5	2.1	4.3	49.0	3.4	12.2	10.0	14.0	11.0	
200	2.1	3.1	5.5	67.0	4.3	16.5	13.4	18.0	15.0	
250	2.4	3.7	7.3	85.4	5.5	20.0	16.5	22.0	19.0	
300	3.1	4.3	8.5	98.0	6.7	24.4	20.0	27.4	23.0	





Σωλήνες πολυαιθυλαίνιου (PE)

6atm

απώλειες πίεσης (bar/100m)

TORO αγωγοί πολυαιθυλενίου (PE pipes) (Πηγή: Toro, Residential / Commercial Specification Catalogue 2005)

D: ονομαστική διάμετρος (", Φmm), Q: παροχή (l/min), v: ταχύτητα ροής (m/s), hf: απώλειες πίεσης (bar/100m)

D	1/2"	Φ16	3/4"	Φ20	1"	Φ25	1 1/4"	Φ32	1 1/2"	Φ40	2"	Φ50	2 1/2"	Φ60	3"	Φ75	4"	Φ100	6"	Φ150
Q	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf
l/min	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar
4	0,32	0,11	0,18	0,03	0,11	0,01	0,06	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00								
8	0,64	0,40	0,37	0,10	0,23	0,03	0,13	0,01	0,09	0,00	0,06	0,00								
12	0,96	0,84	0,55	0,21	0,34	0,07	0,20	0,02	0,14	0,01	0,09	0,00	0,06	0,00						
16	1,28	1,44	0,73	0,37	0,45	0,11	0,26	0,03	0,19	0,01	0,12	0,00	0,08	0,00						
19	1,61	2,17	0,91	0,55	0,56	0,17	0,33	0,05	0,24	0,02	0,14	0,01	0,10	0,00	0,06	0,00				
23	1,93	3,04	1,10	0,78	0,68	0,24	0,39	0,06	0,29	0,03	0,17	0,01	0,12	0,00	0,08	0,00				
27	2,25	4,05	1,28	1,03	0,79	0,32	0,45	0,08	0,34	0,04	0,20	0,01	0,14	0,00	0,09	0,00				
31	2,57	5,19	1,46	1,32	0,90	0,41	0,52	0,11	0,38	0,05	0,23	0,02	0,16	0,01	0,10	0,00				
35	2,89	6,45	1,65	1,64	1,01	0,51	0,59	0,13	0,43	0,06	0,26	0,02	0,18	0,01	0,12	0,00				
38	3,21	7,84	1,83	2,00	1,13	0,62	0,65	0,16	0,48	0,08	0,29	0,02	0,20	0,01	0,13	0,00				
42	3,54	9,36	1,93	2,38	1,24	0,74	0,72	0,19	0,53	0,09	0,32	0,03	0,22	0,01	0,14	0,00	0,08	0,00		
46	3,86	10,99	2,20	2,80	1,35	0,86	0,78	0,23	0,57	0,11	0,35	0,03	0,24	0,01	0,16	0,00	0,09	0,00		
53	4,50	14,62	2,56	3,72	1,58	1,15	0,91	0,29	0,67	0,14	0,41	0,04	0,28	0,02	0,18	0,01	0,11	0,00		
61	5,14	18,73	2,93	4,71	1,81	1,47	1,04	0,39	0,77	0,18	0,46	0,05	0,33	0,02	0,21	0,01	0,12	0,00		
69	5,79	22,67	3,29	5,93	2,03	1,83	1,17	0,48	0,86	0,23	0,52	0,07	0,37	0,03	0,24	0,01	0,14	0,00		
76			3,66	7,21	2,26	2,23	1,30	0,59	0,96	0,28	0,58	0,08	0,41	0,03	0,26	0,01	0,15	0,00		
84			4,03	8,60	2,48	2,66	1,44	0,70	1,05	0,33	0,64	0,10	0,45	0,04	0,29	0,01	0,17	0,00		
91			4,40	10,10	2,71	3,12	1,57	0,82	1,15	0,39	0,70	0,12	0,49	0,05	0,32	0,02	0,18	0,00		
99			4,76	11,45	2,94	3,62	1,70	0,95	1,25	0,45	0,76	0,13	0,53	0,06	0,34	0,02	0,20	0,00		

Προφανώς μπορούμε να επιλέξουμε και 1" αλλά θέλουμε να μειώσουμε τις απώλειες



Size	Model	LPM Flow					
		1	19	38	57	76	114
32mm (1 1/4")	Inline	0,13	0,16	0,19	0,21	0,28	0,34
25mm (1")	Inline	0,14	0,24	0,28	0,31	0,32	0,43
25mm (1")	Angle	0,14	0,22	0,15	0,12	0,13	0,27
25mm (1")	AVB	0,14	0,14	0,31	0,16	0,26	0,56
20mm (3/4")	AVB	0,14	0,29	0,29	0,33	0,52	—





Σωλήνες πολυαιθυλαίνιου (PE)

6atm

απώλειες πίεσης (bar/100m)

TORO αγωγοί πολυαιθυλενίου (PE pipes) (Πηγή: Toro, Residential / Commercial Specification Catalogue 2005)
 D: ονομαστική διάμετρος (", Φmm), Q: παροχή (l/min), v: ταχύτητα ροής (m/s), hf: απώλειες πίεσης (bar/100m)

D	1/2"	Φ16	3/4"	Φ20	1"	Φ25	1 1/4"	Φ32	1 1/2"	Φ40	2"	Φ50	2 1/2"	Φ60	3"	Φ75	4"	Φ100	6"	Φ150
Q	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf
l/min	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar
4	0,32	0,11	0,18	0,03	0,11	0,01	0,06	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00								
8	0,64	0,40	0,37	0,10	0,23	0,03	0,13	0,01	0,09	0,00	0,06	0,00								
12	0,96	0,84	0,55	0,21	0,34	0,07	0,20	0,02	0,14	0,01	0,09	0,00	0,06	0,00						
16	1,28	1,44	0,73	0,37	0,45	0,11	0,26	0,03	0,19	0,01	0,12	0,00	0,08	0,00						
19	1,61	2,17	0,91	0,55	0,56	0,17	0,33	0,05	0,24	0,02	0,14	0,01	0,10	0,00	0,06	0,00				
23	1,93	3,04	1,10	0,78	0,68	0,24	0,39	0,06	0,29	0,03	0,17	0,01	0,12	0,00	0,08	0,00				
27	2,25	4,05	1,28	1,03	0,79	0,32	0,45	0,08	0,34	0,04	0,20	0,01	0,14	0,00	0,09	0,00				
31	2,57	5,19	1,46	1,32	0,90	0,41	0,52	0,11	0,38	0,05	0,23	0,02	0,16	0,01	0,10	0,00				
35	2,89	6,45	1,65	1,64	1,01	0,51	0,59	0,13	0,43	0,06	0,26	0,02	0,18	0,01	0,12	0,00				
38	3,21	7,84	1,83	2,00	1,13	0,62	0,65	0,16	0,48	0,08	0,29	0,02	0,20	0,01	0,13	0,00				
42	3,54	9,36	1,93	2,38	1,24	0,74	0,72	0,19	0,53	0,09	0,32	0,03	0,22	0,01	0,14	0,00	0,08	0,00		
46	3,86	10,99	2,20	2,80	1,35	0,86	0,78	0,23	0,57	0,11	0,35	0,03	0,24	0,01	0,16	0,00	0,09	0,00		
53	4,50	14,62	2,56	3,72	1,58	1,15	0,91	0,29	0,67	0,14	0,41	0,04	0,28	0,02	0,18	0,01	0,11	0,00		
61	5,14	18,73	2,93	4,71	1,81	1,47	1,04	0,39	0,77	0,18	0,46	0,05	0,33	0,02	0,21	0,01	0,12	0,00		
69	5,79	22,67	3,29	5,93	2,03	1,83	1,17	0,48	0,86	0,23	0,52	0,07	0,37	0,03	0,24	0,01	0,14	0,00		
76			3,66	7,21	2,26	2,23	1,30	0,59	0,96	0,28	0,58	0,08	0,41	0,03	0,26	0,01	0,15	0,00		
84			4,03	8,60	2,48	2,66	1,44	0,70	1,05	0,33	0,64	0,10	0,45	0,04	0,29	0,01	0,17	0,00		
91			4,40	10,10	2,71	3,12	1,57	0,82	1,15	0,39	0,70	0,12	0,49	0,05	0,32	0,02	0,18	0,00		
99			4,76	11,45	2,94	3,62	1,70	0,95	1,25	0,45	0,76	0,13	0,53	0,06	0,34	0,02	0,20	0,00		

Προφανώς μπορούμε να επιλέξουμε και 1" αλλά θέλουμε να μειώσουμε τις απώλειες



Σωλήνες πολυαιθυλαίνιου (PE)

6atm

απώλειες πίεσης (bar/100m)

TORO αγωγοί πολυαιθυλενίου (PE pipes) (Πηγή: Toro, Residential / Commercial Specification Catalogue 2005)

D: ονομαστική διάμετρος (", Φmm), Q: παροχή (l/min), v: ταχύτητα ροής (m/s), hf: απώλειες πίεσης (bar/100m)

D	1/2"	Φ16	3/4"	Φ20	1"	Φ25	1 1/4"	Φ32	1 1/2"	Φ40	2"	Φ50	2 1/2"	Φ60	3"	Φ75	4"	Φ100	6"	Φ150
Q	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf	v	hf
l/min	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar	m/s	bar
4	0,32	0,11	0,18	0,03	0,11	0,01	0,06	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00								
8	0,64	0,40	0,37	0,10	0,23	0,03	0,13	0,01	0,09	0,00	0,06	0,00								
12	0,96	0,84	0,55	0,21	0,34	0,07	0,20	0,02	0,14	0,01	0,09	0,00	0,06	0,00						
16	1,28	1,44	0,73	0,37	0,45	0,11	0,26	0,03	0,19	0,01	0,12	0,00	0,08	0,00						
19	1,61	2,17	0,91	0,55	0,56	0,17	0,33	0,05	0,24	0,02	0,14	0,01	0,10	0,00	0,06	0,00				
23	1,93	3,04	1,10	0,78	0,68	0,24	0,39	0,06	0,29	0,03	0,17	0,01	0,12	0,00	0,08	0,00				
27	2,25	4,05	1,28	1,03	0,79	0,32	0,45	0,08	0,34	0,04	0,20	0,01	0,14	0,00	0,09	0,00				
31	2,57	5,19	1,46	1,32	0,90	0,41	0,52	0,11	0,38	0,05	0,23	0,02	0,16	0,01	0,10	0,00				
35	2,89	6,45	1,65	1,64	1,01	0,51	0,59	0,13	0,43	0,06	0,26	0,02	0,18	0,01	0,12	0,00				
38	3,21	7,84	1,83	2,00	1,13	0,62	0,65	0,16	0,48	0,08	0,29	0,02	0,20	0,01	0,13	0,00				
42	3,54	9,36	1,93	2,38	1,24	0,74	0,72	0,19	0,53	0,09	0,32	0,03	0,22	0,01	0,14	0,00	0,08	0,00		
46	3,86	10,99	2,20	2,80	1,35	0,86	0,78	0,23	0,57	0,11	0,35	0,03	0,24	0,01	0,16	0,00	0,09	0,00		
53	4,50	14,62	2,56	3,72	1,58	1,15	0,91	0,30	0,67	0,14	0,41	0,04	0,28	0,02	0,18	0,01	0,11	0,00		
61	5,14	18,73	2,93	4,77	1,81	1,47	1,04	0,39	0,77	0,18	0,46	0,05	0,33	0,02	0,21	0,01	0,12	0,00		
69	5,79	22,67	3,29	5,93	2,03	1,83	1,17	0,48	0,86	0,23	0,52	0,07	0,37	0,03	0,24	0,01	0,14	0,00		
76			3,66	7,21	2,26	2,23	1,30	0,59	0,96	0,28	0,58	0,08	0,41	0,03	0,26	0,01	0,15	0,00		
84			4,03	8,60	2,48	2,66	1,44	0,70	1,05	0,33	0,64	0,10	0,45	0,04	0,29	0,01	0,17	0,00		
91			4,40	10,10	2,71	3,12	1,57	0,82	1,15	0,39	0,70	0,12	0,49	0,05	0,32	0,02	0,18	0,00		
99			4,76	11,45	2,94	3,62	1,70	0,95	1,25	0,45	0,76	0,13	0,53	0,06	0,34	0,02	0,20	0,00		



Βιβλιογραφία

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome,
- Costello D. (2000). A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California - The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III
- EU (2000). Directive 2000/60/EC for Water
- Irrigation Association (2011). Landscape Drainage Design
- Melby P. (1995). Simplified Irrigation Design, Van Nostrand Reinhold, 1995
- ΕΛΟΤ (2009) 10-06-02-01 Άρδευση φυτών και 10-06-02-02 Άρδευση χλοοτάπητα - Φυτών εδαφοκάλυψης - Χλοοτάπητα πρανών
- Μπαμπίλης Δ. (2008) Αρδευτικά δίκτυα πρασίνου. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα
- Ουζούνης Δ. (2002). Συστήματα αυτόματης άρδευσης Εκδόσεις Γαρταγάνης, Θεσσαλονίκη
- Τσιρογιάννης Γ. (2009) Χρήση ειδικού λογισμικού για το σχεδιασμό αρδευτικών δικτύων - Εφαρμογές με το IRRICAD v9 PRO. Αυτοέκδοση, Άρτα
- Τσιρογιάννης Γ. (2010) Φάκελος Εργαστηριακών Ασκήσεων Αρδεύσεις – Στραγγίσεις, ΤΕΙ Ηπείρου, Τμήμα ΑΑΤ, Άρτα, 2010



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Τεχνολογικό Ίδρυμα Ηπείρου. <Τσιρογιάννης Λ. Ιωάννης>.

<Αρδεύσεις - Στραγγίσεις Έργων Πράσινου>.

Έκδοση: 1.0 <Άρτα>, 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG116/>





Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, Διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.el>



Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: <Μπαλτζώη Πηνελόπη>
<Άρτα>, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ





Σημειώματα





Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη Δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ